

ガス化溶融炉のスラグ流監視装置の開発

Development of the System for Evaluating Slag Flow Condition of Waste Gasifying-Melting Furnace

栗林 榮一, ○黒坂 聡, 村上 昭二, 尾崎 嘉彦
川崎重工業(株)

Eichi Kuribayashi, Soh Kurosaka, Shoji Murakami, Yoshihiko Ozaki
Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

Abstract

In a waste gasifying-melting furnace, the ash component in waste is melted at high temperature, and is discharged as melted slag. In order to continue the stable operation, it is indispensable to keep constantly discharging the melted slag. The skilled plant operators have been judging the slag flow condition and keeping the stable operation, watching the image of an ITV camera installed in the slag tap. In this paper, the system for evaluating slag flow condition by image processing is proposed. This system performed to classify the slag flow conditions into four stages automatically by means of analyzing the data such as luminosity, area, and so on, using the image of an ITV camera in slag tap. This system is actually applied to a waste gasifying-melting furnace, so that it exactly judged the slag flow condition and it seldom made errors. This means that the evaluation of this system is almost equivalent to the judgment of the skilled plant operators.

Key Words : gasifying-melting furnace, system for evaluating slag flow condition, slag flow condition

1 はじめに

ガス化溶融炉では、ごみ中の灰分がスラグとして溶融排出される。炉の安定操作を図るためにはスラグの安定した抜き出しが必須であり、熟練したプラント運転員は溶融炉流下口に設置しているITVカメラ画像から、スラグ流下状態を良いか悪いか判断して適宜操作介入を行い、安定したスラグ抜き出しを実現している。

開発したスラグ流監視装置は、ITVカメラのスラグ流画像からスラグ流の特徴を示す情報(輝度、面積等)を抽出して、スラグが安定して流下している状態を「良」、温度が下がりスラグが固化するなど流下が著しく不安定になった状態を「悪」、中間的な判定として「やや良」、「やや悪」という4段階でスラグ流下状態を自動判定するセンサシステムである。

本稿では、スラグ流監視装置のスラグ流の特徴量抽出方法、スラグ流下状態の判定方法について述べ、実稼動しているガス化溶融炉(Fig.1)への適用例とその結果について報告する。

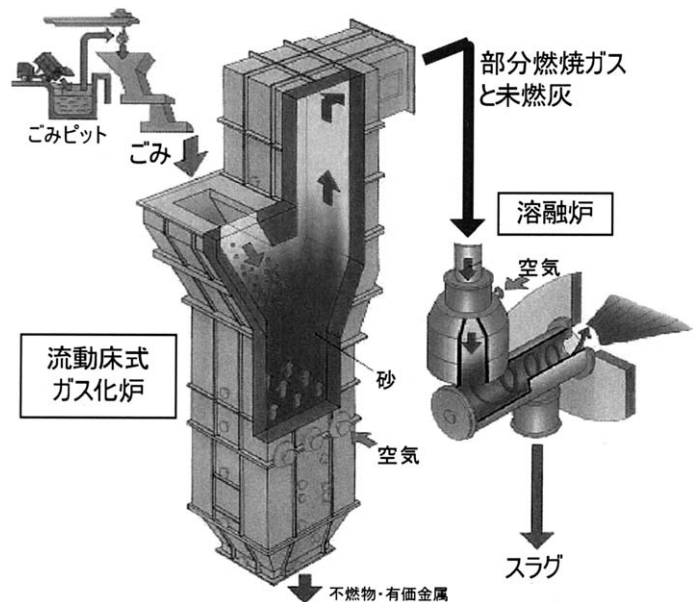


Fig.1 川崎一流動床ガス化溶融システム

2 従来でのスラグ流下状態監視

ガス化溶融炉において安定した運転を継続させるためには、溶融炉から排出されるスラグの流下状態を安定させることが求められる。溶融炉内温度が高温に保てない等の原因に伴ってスラグ流下の粘性が高くなり、スラグが固着するような状態に陥ってしまうと、スラグの安定した抜き出しが出来なくなり、最悪の場合には溶融炉流下口の閉塞によって炉の連続操業に影響を及ぼすことになる。熟練したプラント運転員は、溶融炉の流下口に設置されているITVカメラの映し出されるスラグ流画像を中央操作室にて監視し、スラグ流下状態が「良い」のか「悪い」のかを評価し、適宜操作介入を実施している。このように人の判断に頼っている「スラグ流下状態の評価」を自動化することができれば、人それぞれで異なる判断を一定の基準で得ることができ、運転員が的確に操作介入を実施するための有効な支援システムとなる。

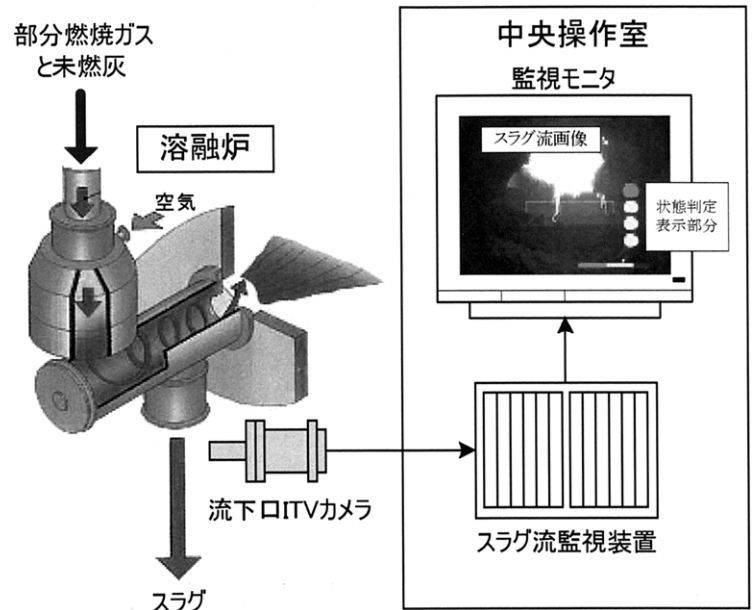


Fig.2 スラグ流監視装置の構成

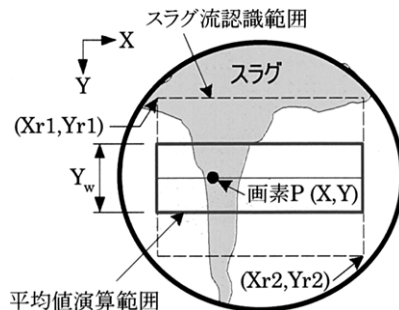
3 スラグ流監視装置の構成と画像処理方法

開発したスラグ流監視装置の構成を Fig.2 に示す。スラグ流監視装置は、流下口ITVカメラで映し出されるスラグ流画像を入力として、計算機によって画像処理を行ってスラグ流下状態を自動判定し、その状態判定結果を監視モニタ上にスラグ流画像と共に表示する。計算機内で行っている画像処理は、スラグ流画像からスラグ流の特徴量を抽出し、スラグ流下状態を「良」、「やや良」、「やや悪」、「悪」の4段階で自動的に判定している。以下に特徴量抽出方法と判定方法について述べる。

(1) 特徴量抽出方法

スラグ流の特徴量としては、熟練したプラント運転員が行っているスラグ流下状態の評価に基づいて、スラグ流の本数、輝度、面積の3つとした。3つの特徴量の抽出方法は、次のような手順で行う。

- ①スラグ流画像 (Fig.2 参照) に対して、運転員が特に着目している部分をスラグ流認識範囲((Xr1,Yr1)~(Xr2,Yr2))を取り決める。
- ②スラグ流認識範囲内の画像について2値化処理およびノイズ除去処理を行って、スラグ流領域を抽出する。
- ③2値化処理は、Fig.3 に示すように行う。2値化処理における2値化しきい値の演算は、ある画素 (X,Y) 座標に対して平均値演算範囲 (Fig.3 の太枠) を決め、演算範囲内の輝度の平均値を用いる。これはスラグ流画像の背景輝度がスラグ上部で高く下部で低い傾向となり、その傾向が時々刻々と変化することに対応している。

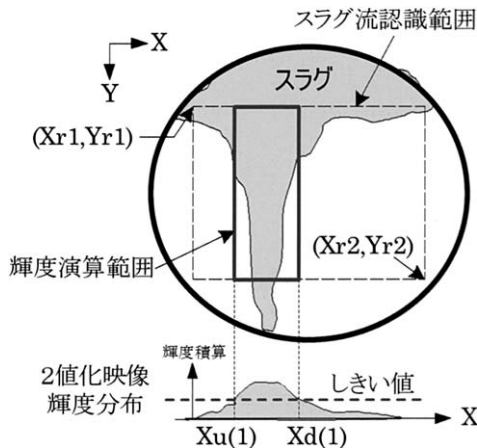


P_{th} = 2値化しきい値
 $P(X, Y)$ = 画素(X,Y)での輝度値
 $(Xr1, Yr1)$ = スラグ流認識範囲の右上座標
 $(Xr2, Yr2)$ = スラグ流認識範囲の左下座標
 Y_w = Y軸方向平均値計算範囲
 S_{area} = 平均値演算範囲内画素数

$$P_{th} = \left\{ \sum_{y=Y-Y_w/2}^{Y+Y_w/2} \sum_{x=Xr1}^{Xr2} P(x, y) \right\} / S_{area}$$

Fig.3 スラグ流画像2値化処理

- ④スラグ流画像上部にある溶融状態になったスラグが“つらら状”に流下することに着目して、Fig.4に示すようにX軸方向に投影された2値化処理された画像の輝度分布(2値化映像輝度分布)を演算する。
- ⑤スラグ本数は、2値化映像輝度分布からあるしきい値を超えた部分の山の数として抽出する。
- ⑥2値化映像輝度分布から、あるしきい値(⑤と同じ値)により求まるスラグ流のX軸方向位置(Xu(n)、Xd(n))を抽出し、スラグ流認識範囲((Xr1,Yr1)~(Xr2,Yr2))と重ね合わせた部分を輝度演算範囲(Fig.4の太枠)とする。
- ⑦スラグ輝度は、スラグ本数に従って抽出される輝度演算範囲における輝度の平均値とした。
- ⑧スラグ面積は、スラグ流認識範囲((Xr1,Yr1)~(Xr2,Yr2))内のスラグ流として認識された画素数の総計とした。



$P(n)$ = n個目のスラグ流の平均輝度
 $(Xr1, Yr1)$ = スラグ流認識範囲の右上座標
 $(Xr2, Yr2)$ = スラグ流認識範囲の左下座標
 $Xu(n)$ = n個目のスラグ流の輝度分布値がしきい値より大きくなるX軸方向位置
 $Xd(n)$ = n個目のスラグ流の輝度分布値がしきい値より小さくなるX軸方向位置
 $S(n)$ = n個目のスラグ流の画素数

$$P(n) = \left\{ \sum_{y=Yr1}^{Yr2} \sum_{x=Xu(n)}^{Xd(n)} P(x, y) \right\} / S(n)$$

Fig.4 スラグ流画像認識方法

(2) スラグ流下状態判定方法

スラグ流下状態の判定は、Tab.1に示すように、“スラグ流本数”、“スラグ流輝度の強さ”、及び“スラグ流面積変化”(スラグ流面積が減少する継続時間)の各判定項目の中から最も悪い判定結果を出力することとした。

Tab.1 スラグ流下状態判定表

判定	スラグ流本数	スラグ流輝度	スラグ流面積変化
悪	本数=0	(無し)	(無し)
やや悪	本数>0	輝度値< α	$\Delta S_t < 0$ かつ $\Delta S_{t-1} < 0$ かつ $\Delta S_{t-2} < 0$ かつ $\Delta S_{t-3} < 0$ かつ $\Delta S_{t-4} < 0$
やや良	本数>0	$\alpha < \text{輝度値} < \beta$	$\Delta S_t < 0$ かつ $\Delta S_{t-1} < 0$ かつ $\Delta S_{t-2} < 0$
良	本数>0	上記以外	上記以外

S_t : 時間tにおけるスラグ流面積
 $\Delta S_t = S_t - S_{t-1}$
 $\Delta S_{t-1} = S_{t-1} - S_{t-2}$
 $\Delta S_{t-2} = S_{t-2} - S_{t-3}$
 $\Delta S_{t-3} = S_{t-3} - S_{t-4}$
 $\Delta S_{t-4} = S_{t-4} - S_{t-5}$

3つ判定項目の中から最も悪い判定結果を出力

4 スラグ流監視装置の適用例と評価試験結果

実稼動しているガス化溶融炉へスラグ流監視装置を適用して、溶融炉運転時の任意時点におけるスラグ流下状態判定結果を Fig.5 に示す。各画面右側の4つの円が判定結果を表しており、上よりスラグ流下状態は「良」、「やや良」、「やや悪」、「悪」を表す。スラグ流下状態が「良」と判定している画面では、スラグ流は2本有り、輝度も高いことが見て取れ、スラグ流下状態は良好であることがわかる。スラグ流下状態が「悪」と判定している画面では、流れているスラグが無く（スラグ流が0本）、輝度も「良」と比べて低いことが見て取れ、スラグ流下状態が悪化していることがわかる。

約 120 点のスラグ流画像について、熟練したプラント運転員がスラグ流下状態を判定した結果を正解とし、同じ画像をスラグ流監視装置にて自動判定した出力を比べると、正解率が 96.8%と高い値を出すことができた。

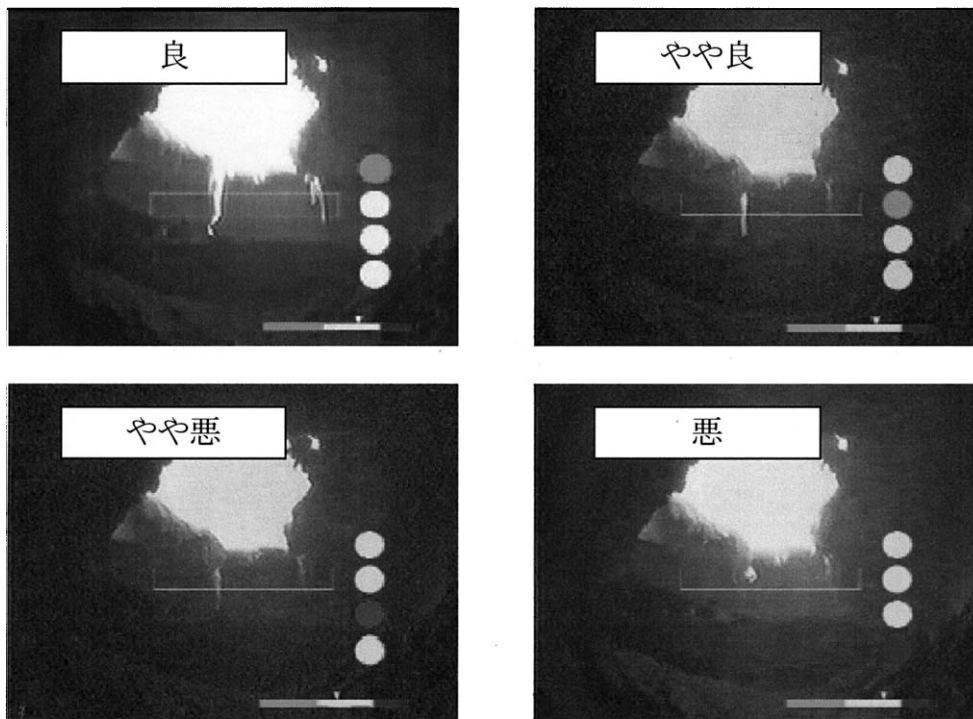


Fig.5 スラグ流下状態判定例

5 おわりに

ガス化溶融炉におけるスラグ流下状態を自動判定するスラグ流監視装置を開発した。実稼動しているガス化溶融炉に対して、スラグ流監視装置でスラグ流下状態を自動判定した結果、本装置が出力するスラグ流下状態の判定は、熟練したプラント運転員が行っているスラグ流下状態の判断と比較しても妥当なものであった。今後、ガス化溶融炉に対して運用評価を行い、安定運転の実現に寄与する方針である。

参考文献

- 1) 宮本、村上、尾崎、湯浅、八尾、黒坂 「ガス化溶融プラントのスラグ流監視装置の開発」 第46回 自動制御連合講演会予稿集 (2003)
- 2) 宮本、黒崎、西野、小林、宮崎、森、原田、宮武 「ニューラルネットを用いたスラグ流下状態監視システムの開発」、川崎重工技報, 124号 p35-p40 (1995)
- 3) 和田、宮本、尾崎、宮崎、藤山、八尾他 「ごみガス化溶融プラントのスラグ流監視装置開発」 第39回 計測自動制御学会 計測自動制御学会講演会予稿集 (2000)